

دراسة النجم النابض 2MASS J03424676+2529504 في مجموعة نجوم الثريا المفتوحة

د. محمد أحمد معلا*

(تاريخ الإيداع 10 / 5 / 2021. قُبِلَ للنشر في 26 / 9 / 2021)

□ ملخص □

لقد تم في هذا البحث حساب البارامترات الفيزيائية لنجم نابض تم اكتشافه خلال رصد حقل من النجوم ضمن مجموعة نجوم الثريا المفتوحة. تمت عملية الرصد الفلكي للحقل المدروس في الفترة الممتدة من عام 2008 ولغاية نهاية العام 2010 وحديثاً تمت متابعة الرصد في العام 2020 بواسطة كاميرا فلكية مركبة على التلسكوب الرئيسي نو القطر 0.9m في المرصد الفلكي التابع لمعهد الفيزياء الفلكية في جامعة فريدريش شيللر في مدينة بينا-ألمانيا.

تم حساب الدور المداري للنجم النابض الجديد، حيث بلغت قيمته $P = 0.1323562 \mp 0.021362 \text{ days}$. لا يتوافق موقع النجم في مخطط هرتزشبرونج-راسل (HRD) مع عمر وبعد نجوم الثريا الموجودين في الحقل وبالتالي فهو لا يصلح لأن يكون مرشح لعضوية نجوم الثريا. يمتلك هذا النجم طيف من النمط F2V. تم حساب كتلته لتكون $M = 1.37 M_{\odot}$ ونصف قطره ليكون $R = 1.26 R_{\odot}$.

حيث $M_{\odot} = 1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$ هي كتلة الشمس و $R_{\odot} = 6.9599 \times 10^5 \text{ km}$ نصف قطرها.

الكلمات المفتاحية: { مجموعات مفتوحة: نجوم الثريا- النجوم: نجوم متغيرة- نابضة- التقنيات: قياس شدة الضوء}.

* مدرس - كلية طب الأسنان - جامعة المنارة - اللاذقية - سورية. mohammad.moualla@manara.edv.sy

Studying the Pulsating Star 2MASS J03424676+2529504 in the Pleiades open cluster

Dr. Mohammad Moualla*

(Received 10 / 5 / 2021. Accepted 26 / 9 / 2021)

□ ABSTRACT □

We determine in this work the physical parameters of a pulsating star. The star was discovered during our survey on a field of stars in the Pleiades open cluster. The field was observed in the period 2008– 2010 and recently 2020 with the main telescope's camera of 0.9 m at the University Observatory Jena in Germany. Our new star has an orbital period of about $P = 0.1323562 \mp 0.021362$ days. The location of this new star in the HRD is inconsistent with the age and distance of the already known Pleiades stars in this field, so that it's not valid as a Pleiades member candidate. The derived spectral type of this new star is F2V. The derived mass and radius of this new star are $M = 1.37 M_{\odot}$, $R = 1.26R_{\odot}$ respectively.

$M_{\odot} = 1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$ is the solar mass, and $R_{\odot} = 6.9599 \times 10^5 \text{ km}$ is the solar radius.

Keywords {open clusters and associations: individual (Pleiades) - stars: variable-pulsating techniques: photometric }

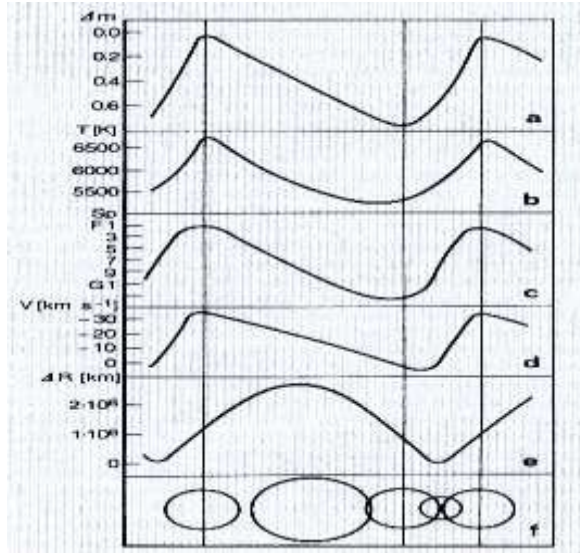
* Assitant Professor, Faculty of Dentistry, Manara University, Lattakia, Syria.
mohammad.moualla@manara.edu.sy

مقدمة:

تعرف النجوم المتغيرة على أنها نجوم تتغير شدة لمعانها مع مرور الزمن نتيجة تغيرات تطراً على النجم أثناء فترة حياته. إن دراسة هذه النجوم المتغيرة تكتسب أهمية خاصة لعلماء الفلك تتمثل في تحديد بعض الخواص الفيزيائية، التي من غير الممكن تحديدها أو قياسها بشكل مباشر (كالكتلة أو البعد أو مرحلة التطور) بدقة جيدة لبعض هذه النجوم في بعض الحالات.

يتم تسمية النجوم المتغيرة الموجودة في نفس البرج الفلكي على النحو التالي: النجم الأكبر (أكثر النجوم المتغيرة لمعاناً) يتم تسميته باستخدام حرف يوناني يليه أسم البرج الفلكي، على سبيل المثال (β Lyrae) هو الشلياق، وهو ثاني ألمع نجوم مجموعة القيثارة. بالنسبة للنجوم الجديدة المتغيرة (في نفس البرج الفلكي) والأقل لمعاناً يتم تسميتها باستخدام حرفين لاتينيين ابتداءً من الحرف الأول A انتهاءً بالحرف الأخير Z مع استثناء الحرف l من التسمية، مثل AA.....AZ وهذا يعني 334 أسم في كل برج فلكي، يلي ذلك أسم أو أختصار للبرج الفلكي، مثل RR Lyrae أو RR Lyr، في حال اكتشاف نجوم متغيرة إضافية في نفس البرج الفلكي يتم التسمية باستخدام الأرقام (ابتداءً من 335) مسبقاً بالحرف اللاتيني V (Variable) مثل (V335) [1].

تتضمن مجموعة النجوم المتغيرة فيزيائياً نوعين رئيسيين وهما نجوم متغيرة بانتظام ونجوم متغيرة بصورة غير منتظمة. تتضمن النجوم المتغيرة بانتظام نوعين وهما النجوم النابضة (pulsating stars) والنجوم الدوارة (rotating stars)، في حين تحوي النجوم المتغيرة بصورة غير منتظمة نوع واحد فقط هو نجوم الفلير (flare stars).
ينجم التغير في الخواص الفيزيائية للنجوم النابضة عن انقباض وانبساط النجم (كقلب الإنسان) بشكل مستمر ودوري مما يؤدي إلى حدوث تغيرات دورية في كافة البارامترات الفيزيائية للنجم كالكتلة ونصف القطر ودرجة الحرارة والطيف والسعة والدور (زمن نبضة واحدة، أي زمن انقباض وانبساط واحد) كما هو موضح في الشكل 1.



الشكل 1: التغيرات الحاصلة في البارامترات الفيزيائية لنجم نابض. (a) تغيرات الكتلة، (b) تغيرات درجة الحرارة، (c) تغيرات النوع الطيفي، (d) تغيرات السرعة، (e) تغيرات نصف القطر، (f) تغيرات قرص النجم [1].

يكون النجم في الأحوال الطبيعية مستقر، أي أنه تسود حالة توازن ناتج عن تساوي القوتين الرئيسيتين المؤثرتين على النجم، قوة الجاذبية المتجهة نحو الداخل وقوة الإشعاع المتجهة نحو الخارج. قد يؤدي أي اختلال في حالة التوازن هذه نتيجة عوامل خارجية إلى تغيرات في خواص النجم كما هو الحال في النجوم النابضة مثلاً.

إن التفاعلات النووية في مركز النجم هي المصدر الرئيس للطاقة، ولكن نتيجة الكثافة العالية في داخل النجم لا تصل كامل الطاقة إلى السطح (انتقال الطاقة يكون بواسطة الحمل الحراري convection) وبشكل مباشر، إنما يتم بعثرته. خاصية النفاذية هذه في بنية النجم يشار إليها باستخدام الحرف اليوناني (κ). نتيجة ظروف خارجية، كتأثير حقول مغناطيسية قوية، يتم انضغاط المواد (H, He) الموجودة في منطقة من غلاف النجم مما يؤدي إلى تحريك هذه الطبقة وبالتالي الطبقات الواقعة تحتها باتجاه مركز النجم وهذا يؤدي بدوره إلى ارتفاع شدة الضغط المؤثر على المركز ودرجة الحرارة، بالتالي فإن كمية قليلة من الإشعاع تستطيع النفاذ نحو الخارج (نتيجة شدة الانفاذية) مما يؤدي إلى تولد ضغط قوي جداً في المركز ينتج عنه تمدد النجم، أي أن النجم ينبسط. تتخفف بعد فترة زمنية درجة حرارة الطبقات المتعددة وتقل شدة الضغط مما يؤدي إلى ازدياد النفوذية أي انخفاض الكثافة، بالتالي يستطيع الإشعاع في المركز النفاذ بسرعة نحو الخارج مما يؤدي إلى انخفاض شدة الضغط الإشعاعي في المركز وبالتالي رجحان قوة الجاذبية التي تؤدي إلى تقلص النجم (انقباضه). وهكذا تتكرر الآلية طالما أن المؤثرات الخارجية موجودة، بالمحصلة فإن النجم ينبض (pulsates) [1,2].

ينبغي التمييز ما بين النجوم النابضة (موضوع بحثنا هذا) ونوع خاص من النجوم النورونية يدعى بالنابضات (Pulsars). سنقوم في هذه المقالة العلمية بعرض نجم نابض جديد مكتشف ضمن حقل من النجوم في مجموعة نجوم الثريا، حيث سنقوم بشرح مختصر لآلية الرصد الفلكي بالإضافة إلى آلية معالجة الصور الفلكية الملتقطة للحقل المدروس، ومن ثم سنقوم بعرض النتائج والمناقشة.

أهمية البحث وأهدافه:

تتبع أهمية هذا البحث من دراستنا لحقل من النجوم يقع على أطراف مجموعة نجوم الثريا المفتوحة، حيث أن هذا الحقل لم يتم رصده بشكل دائم ومستمر مسبقاً بحثاً عن النجوم المتغيرة أو أجرام سماوية أخرى، بالتالي نستطيع البحث عن نجوم متغيرة جديدة ضمن الحقل ومحاولة إثبات انتماءها لمجموعة نجوم الثريا.

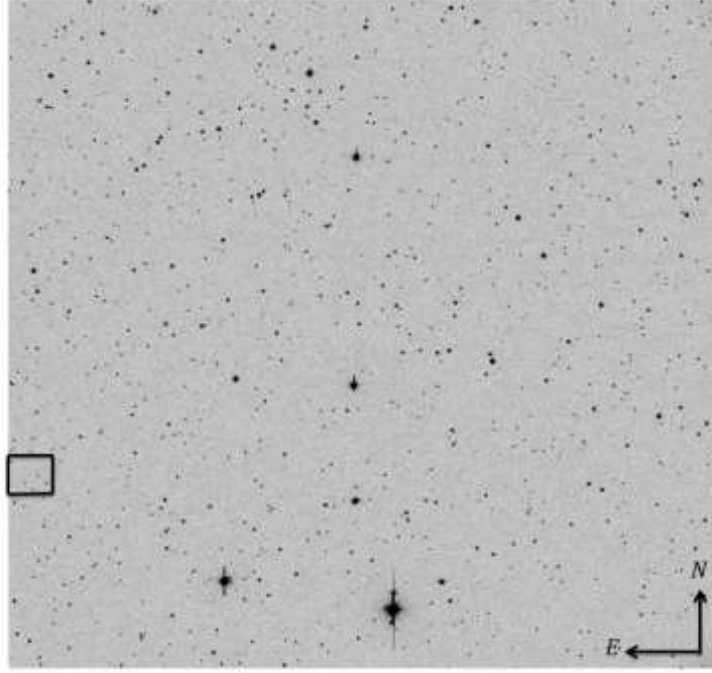
طرائق البحث ومواده:

تم في إطار هذا البحث رصد حقل من النجوم (الشكل 2) يقع على أطراف مجموعة نجوم الثريا وذلك بحثاً عن مختلف أنواع النجوم المتغيرة (Variable stars) بالإضافة إلى ما يعرف بالأجرام السماوية الشبيهة بالنجوم (Sub stellar Objects) كالأقزام البنية (Brown Dwarfs, BDs) أو الكواكب خارج المجموعة الشمسية (Exo Planets). تم اختيار موقع الحقل المدروس ($\alpha = 3h 42m 21s$, $\delta = 25^\circ 36' 54''$) بعيداً عن مركز مجموعة الثريا حيث تقع النجوم شديدة اللعان والتي ستعيق عملية قياس شدة لمعان نجوم الحقل المدروس، بالإضافة إلى أن الحقل المدروس لم يتم رصده بشكل دائم ومستمر من قبل [3].

فيما يتعلق بالأدوات الفلكية المستخدمة في هذا البحث فقد تم استخدام تلسكوبات مرصد جامعة فريدريش شيللر في مدينة جينا في ألمانيا وهي عبارة عن تلسكوبين فلكيين متطورين، التلسكوب الأول قطره 0.25m مثبت بدوره على التلسكوب الثاني الرئيسي ذو القطر 0.9m [4].

لقد تمت معظم عمليات الرصد الفلكي في المجال المرئي R ($\lambda = 563\text{nm}$) في حين أن زمن الإضاءة تم اختياره ليكون 90s بما يضمن قياس شدة إشعاع كافة نجوم الحقل المدروس بما فيها النجوم ضعيفة اللمعان. استمرت عمليات الرصد الفلكي بشكل متواصل لفترات زمنية تمتد إلى عدة ساعات على مدار عدة سنوات بدءاً من العام 2008 حتى نهاية العام 2010 ومن ثم حديثاً خلال العام 2020.

قمنا سابقاً باكتشاف عدد من الأجرام السماوية، ضمن هذا الحقل المدروس، المرشحة لأن تكون أقزام سماوية بنية [5]. كما قمنا باكتشاف العديد من النجوم المتغيرة ضمنه، أبرزها نجم نوع فلير [6] ونجم متغير من نوع الغول [7]. أما في ما يتعلق بالنجم النابض المدروس هنا، فلم يتم نشر نتائج رصدنا ودراستنا له من قبل، لذلك تم الحصول على بيانات حديثة من أجل نشر هذه النتائج.



الشكل 2: صورة للحقل المدروس ضمن مجموعة نجوم الثريا. تم التقاط هذه الصورة بواسطة كاميرا تلسكوب المرصد الفلكي (GSH) التابع لجامعة فريدريش شيللر في مدينة Jena في ألمانيا بزمن إضاءة قدره 90s وبطول موجي $\lambda = 563\text{nm}$. يشير N إلى الشمال و E إلى الشرق، كما يشير المربع الأسود إلى مكان وجود النجم النابض الجديد المكتشف.

بما أن الصور الفلكية الملتقطة تحوي العديد من العيوب، كسطوع الخلفية والتيار الكهربائي الساكن، بما ينعكس سلباً على (Munich Image Data Analysis System, MIDAS) ومعتمدة من قبل المنظمة الأوروبية للأبحاث الفلكية في دقة الصورة وبالتالي شدة الإشعاع المقيس، فقد تمت معالجة الصور حاسوبياً باستخدام برنامج خاص بالبيانات الفلكية نصف الكرة الأرضية الجنوبي ESO (European Southern Observatory) [8,9]، حيث أن

التلسكوبات التابعة لهذه المنظمة تقع في جمهورية تشيلي في أمريكا الجنوبية، لكن البرمجيات الخاصة بها تصلح لكافة أنواع المجموعات النجمية المشاهدة في النصفين الشمالي والجنوبي من الكرة الأرضية. بعد الانتهاء من معالجة الصور الملتقطة قمنا بقياس شدة إشعاع كافة نجوم الحقل باستخدام عدة برامج فلكية، حيث أنه يتم في البدء تحديد كافة النجوم الموجودة في الحقل باستخدام برنامج فلكي خاص [10]. ومن ثم يتم حساب ما يعرف بالشدة الفعالة لإشعاع النجم (Instrumental Magnitude) باستخدام طريقة الحلقات [7, 11]، حيث تتم مقارنة شدة إشعاع النجوم لوغاريتمياً بشدة إشعاع الخلفية.

النتائج والمناقشة:

تم استخدام برنامج فلكي خاص (Stringlength, SL) [12] برسم المنحنيات الضوئية (Light curves) وحساب الدور الموافق، بحيث أن قيمة الدور الموافقة التي حصلنا عليها هي ($P = 0.1323562 \pm 0.021362 \text{ days}$). يعتمد هذا البرنامج على طريقة المربعات الصغرى الرياضية (Least squares). تم إدخال قيم إشعاع النجم والمقاسة في ليلة رصد فلكي، بحيث أن القيم تشمل كافة ليالي الرصد الفلكي للنجم والممتدة على مدار عدة سنوات، من العام 2008 وحتى العام 2021. يقوم البرنامج برسم منحنى بياني واحد يشمل كافة المنحنيات الضوئية (كل منحنى ضوئي يمثل ليلة رصد واحدة، أخذاً بعين الاعتبار الطور (Phase) الذي من أجله يمكن طوي (Folds) المنحنيات الضوئية فوق بعضها البعض، يدعى هذا المنحنى (Phase folded light curve) بالمنحنى الضوئي المطوي بالنسبة للطور (الشكل 3). من الجدير ذكره أن هذا البرنامج يأخذ الإنقطاعات في فترات الرصد الفلكي بعين الاعتبار، حيث أن الرصد كان يتم خلال أشهر محددة كل عام، كون مجموعة نجوم الثريا مجموعة شتوية لا تشاهد إلا في الشتاء. بالتالي فالبرنامج قادر على تشكيل منحنى ضوئي بالرغم من وجود انقطاع لسنوات من الرصد الفلكي.

نلخص في الجدول 1 أهم البارامترات الفيزيائية للنجم المدروس، حيث أنها تشمل شدة الإشعاع (السطوع) في المجال المرئي وبطولين موجيين مختلفين ($V = 552\text{nm}, R = 563\text{nm}$) بالإضافة إلى التصنيف الطيفي ودرجة الحرارة وكلاً من الكتلة ونصف القطر.

الجدول 1: البارامترات الفيزيائية للنجم المدروس. mag هي اختصار لوحددة فلكية (magnitude) تعطي مقدار سطوع النجوم والأجرام السماوية.

البارامتر	القيمة
السطوع في المجال B	16.17 mag
السطوع في المجال V	$14.89 \pm 0.159 \text{ mag}$
السطوع في المجال R	$15.29 \pm 0.368 \text{ mag}$
السطوع في المجال J	$14.38 \pm 0.036 \text{ mag}$
السطوع في المجال H	$14.09 \pm 0.042 \text{ mag}$
السطوع في المجال K	$13.94 \pm 0.050 \text{ mag}$
نوع الطيف Spectral type	F2V
درجة الحرارة الفعالة T_{eff}	6582 K
الكتلة M	$1.37 M_{\odot}$
نصف القطر R	$1.28 R_{\odot}$

لقد تم حساب نوع الطيف ودرجة الحرارة الفعالة للنجم المدروس بالاعتماد على جداول فلكية خاصة [13] أخذين بعين الاعتبار أن النجم المدروس يقع على النسق الرئيس. أما بالنسبة للكتلة ونصف القطر فقد تم حسابها أيضاً بالاعتماد على جداول فلكية خاصة [13, 14]. بالنسبة لشدة الإشعاع في المجالات (B, J, H, K) فقد تم الحصول عليها من عدة كتالوجات فلكية [15, 16, 17].

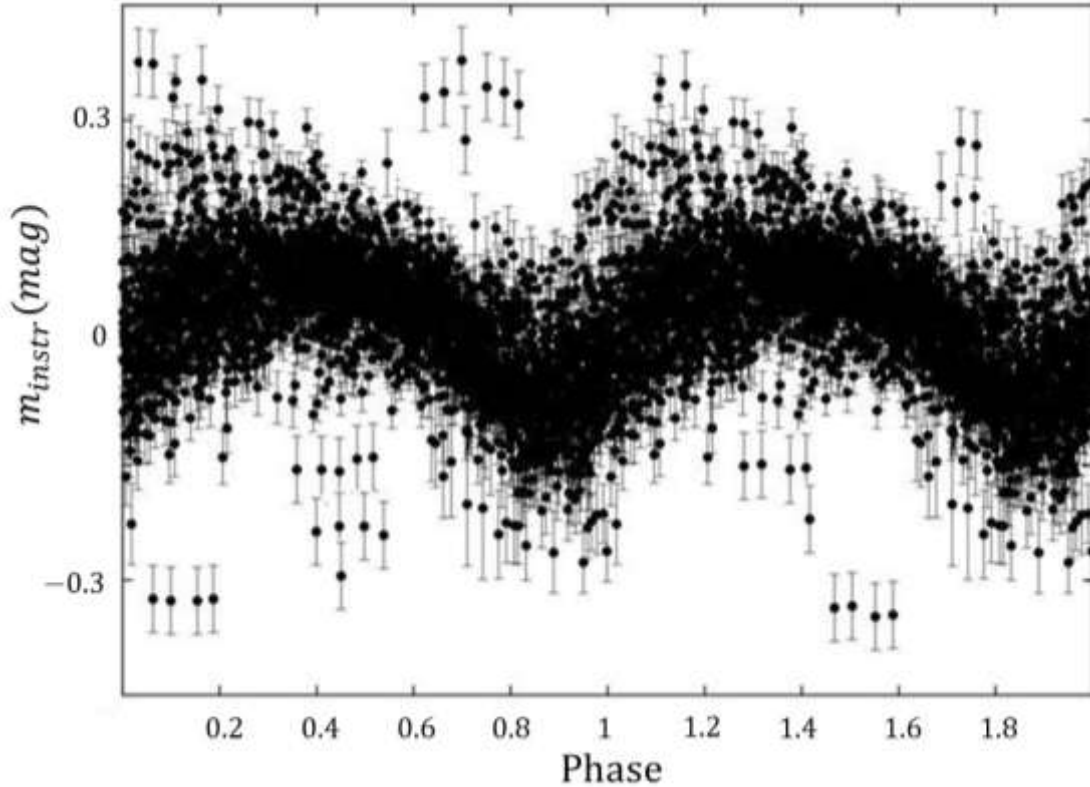
تعطى سرعة دوران نجم ما بتقسيم المحيط ($2\pi R$) على الدور (P)، على اعتبار أن النجم هو جسم كروي متناظر، وفق القانون التالي:

$$v_r = \frac{2\pi R}{P} = 481.831 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

أما فيما يتعلق بسرعة التفكك (Break up Velocity) وهي السرعة التي تحدد مدى استقرار نجم ما بفعل تساوي كل من قوة الطرد المركزي (الناتجة عن دورانه حول نفسه) وقوة الجاذبية فتعطى بالعلاقة التالية:

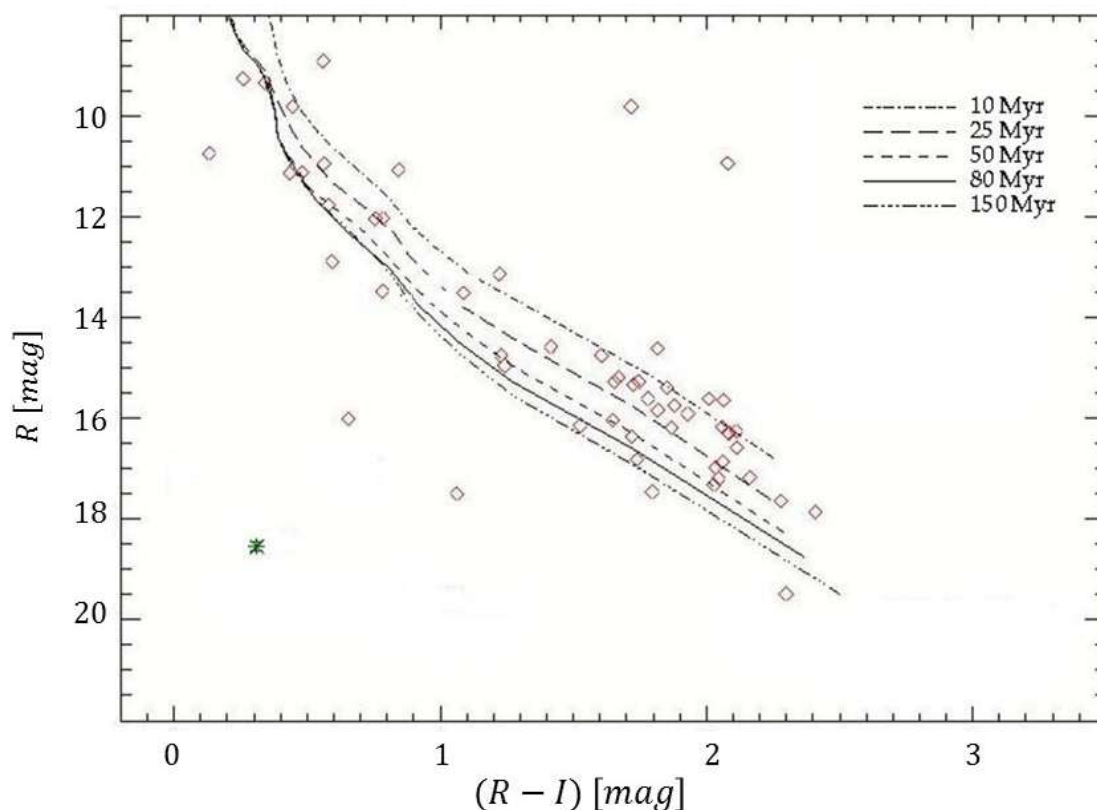
$$v_{br} = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}} = 455.411 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$$

حيث تشير M إلى كتلة النجم و R إلى نصف قطره، في حين أن G هو ثابت الجذب العام لنيوتن. يشير موقع النجم ضمن مخطط HRD إلى أن بعده وعمره لا يتوافقان مع عمر وبعد نجوم الثريا وبالتالي فإنه لا يصلح لأن يكون مرشح لعضوية مجموعة نجوم الثريا.



الشكل 3: المنحني الضوئي الخاص بالنجم النابض الجديد المكتشف في الحقل المدروس ضمن مجموعة نجوم الثريا. يتضمن هذا المنحني قيم للسطوع الفعال (m_{inst}) المقيس خلال الفترة 2008-2010 مضافاً لها قيم لقياسات حديثة من العام 2020، كما ان أخطاء القياس تم أخذها بعين الاعتبار.

من أجل تحديد عمر وبعد هذا النجم تم رسم أحد أشكال مخطط (Hertzsprung–Russell Diagram, HRD) الشهير في فيزياء الفلك ألا وهو مخطط اللون واللمعان CMD (Color–Magnitude Diagram) في المجال المرئي، حيث تم إدراج القيم الخاصة بنجوم الثريا المعروفة والمدروسة سلفاً في الحقل المدروس (المربعات المرسومة ضمن الشكل 4) كما قمنا بإدراج قيم القياس الخاصة بالنجم النابض المدروس (النجم المرسوم في الشكل 4). يظهر من المخطط بأن موقع النجم النابض المدروس لا يتوافق مع موقع نجوم الثريا المعروفة سلفاً وبالتالي فهو لا يتوافق مع عمر وبعد نجوم الثريا [18, 19] 80 Myr، مما يعني بأنه غير مرشح لعضوية مجموعة نجوم الثريا بل هو على الأغلب نجم خلفية (Background star).

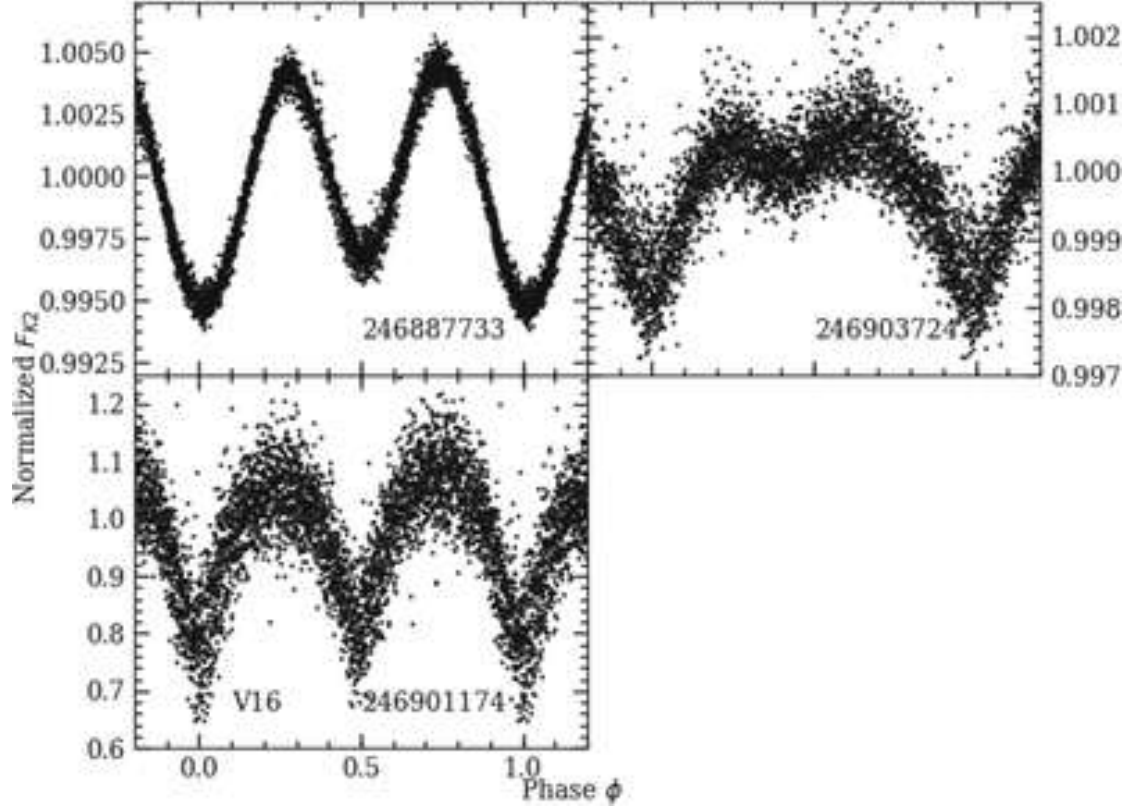


الشكل 4: مخطط اللون-اللمعان لنجوم تنتمي لمجموعة الثريا بالإضافة إلى النجم المدروس. يتضمن هذا المخطط قيم قياساتنا لسطوع نجوم الثريا المعروفة في الحقل المدروس (المربعات ضمن الشكل) و للنجم النابض الجديد المدروس (النجم ضمن الشكل). كما قمنا بإدراج بيانات (قيم مرجعية) لخمس موديلات نظرية لنجوم بأعمار مختلفة (موضحة ضمن الرسم) ولكنها تمتلك نفس بعد نجوم الثريا [20]. Myr هي اختصار للرقم مليون.

بمقارنة المنحني الضوئي لهذا النجم (الشكل 3) بالمنحنيات الضوئية لمجموعة من النجوم المتغيرة (الشكل 5) المكتشفة في المجموعة المفتوحة NGC 1817 [21]، نجد أنه من الممكن أن يكون هذا النجم في الحقيقة نجم مضاعف، أي أنه قد يكون عبارة عن نظام ثنائي مكون من نجمين يدوران حول مركز ثقل النظام.

النجوم المتغيرة في الشكل 5 هي عبارة عن نجوم مضاعفة يتكون كل منها من نجمين وليس نجم واحد، وقد تم التأكد من ذلك باستخدام تلسكوب WIYN بقطر 3.5m (أحد تلسكوبات وكالة NASA)، بالإضافة إلى الحصول على طيف

عالي الدقة يظهر وجود خطوط إصدار وامتصاص مضاعفة. يوجد هناك تشابه في الشكل العام للمنحي الضوئي الخاص بالنجم النابض المدروس (الشكل 3) والنجوم المضاعفة في المجموعة المفتوحة NGC 1817 (الشكل 5)، ولكن نتيجة صغر حجم التلسكوب (0.9m) المستخدم لرصد النجم النابض مقارنةً بتلسكوب ناسا العملاق (3.5m)، بالإضافة إلى عدم حصولنا على طيف للنجم النابض المدروس، فإننا نحتاج إلى متابعة دراسة ورصد هذا النجم وبأدوات أكبر بغية التحقق من هذا الافتراض العلمي.



الشكل 5: منحنيات ضوئية لمجموعة من النجوم المضاعفة ضمن مجموعة النجوم المفتوحة NGC 1817 [21].

الاستنتاجات والتوصيات:

1. النجم المدروس هو نجم متغير لم تتم دراسته مسبقاً، ولكنه لا يصلح لعضوية مجموعة نجوم الثريا لأن موقعه ضمن مخطط اللون واللمعان CMD لا يتوافق مع موقع نجوم الثريا المعروفة سلفاً.
2. من الممكن أن يكون هذا النجم نجم مضاعف، أي أنه عبارة عن نظام ثنائي مكون من نجمين يدوران حول مركز كتلة النظام المكون لهما. لكن من أجل إثبات ذلك نحتاج إلى صورة فلكية بمقدرة فصل عالية (تلسكوب بقطر أكبر من قطر التلسكوب المستخدم في هذه الدراسة) بالإضافة إلى طيف عالي الدقة يظهر خطوط إصدار وامتصاص مضاعفة.

References:

1. Unsöld, A. ; Baschek, B.: *Der neue Kosmos*. Auflage 7. Springer, 2009.
2. Weigert, A. ; Wendker, H. J. ; Wisotzki, L.: *Astronomie und Astrophysik*. Auflage 5. WIELY-VCH, 2009
3. Schwarz, J. M. & Becklin, E. E., *A DEEP INFRARED PHOTOMETRIC SURVEY FOR VERY LOW MASS BROWN DWARFS IN THE PLEIADES*, The Astronomical Journal,
4. Mugrauer, M. ; Berthold, T., *STK: A new CCD camera at the University Observatory Jena*. In: *Astronomische Nachrichten* 331 (2010),S. 449–+
5. Eisenbeiss, T. ; Moualla, M. ; Mugrauer, M. ; Schmidt, T. O. B. ; Raetz, S. ; Neuhäuser, R. ; Ginski, C. ; Hohle, M. M. ; Koeltzsch, A. ; Marka, C. ; Rammo, W. ; Reithe, A. ; Roell, T. ; Vaňko, M., *New brown dwarf candidates in the Pleiades*. In: *Astronomische Nachrichten* 330 (2009), May, S. 439–+
6. Moualla, M., Schmidt, T. O. B., Neuhäuser, R., Hambaryan, V. V., Errmann, R., Trepl, L. and Broeg, Ch., *a new flaring star member candidate in the Pleiades cluster*, AN, 2011. No. 7. 661 – 667.
7. Mualla. Study of the optical contrast of a field of stars within the Thuraya group (studying a new star of the Joule type within the studied field), Tishreen University Journal. Basic Sciences Volume (42) Issue (5). 2020
8. European Southern Observatory, *MIDAS, ESO Operating Manual No.1*, May 1990. – Volume A: System
9. European Southern Observatory, *MIDAS, ESO Operating Manual No.1*, May 1990. – Volume B: Data Reduction
10. Bertin, E., *SExtractor, User's manual*, Edition 2.5, 1997, Institut d'Astrophysique, Observatoire de Paris
11. Broeg, C. ; Fernández, M. ; Neuhäuser, R., *A new algorithm for differential photometry: computing an optimum artificial comparison star*, In: *Astronomische Nachrichten* 326 (2005), February, S. 134–142
12. Dworetzky, M. M., *A period-finding method for sparse randomly spaced observations of 'How long is a piece of string?'*. In: *MNRAS* 203 (1983), June, S. 917–924
13. Kenyon, S. J. ; Hartmann, L., *Pre-Main-Sequence Evolution in the Taurus-Auriga*
14. Schmidt-Kaler, T., Landolt-Börnstein. Springer-Verlag, 1982. – 4.1.1 *Classification of stellar spectra*
15. Cutri, R. M. ; Skrutskie, M. F. ; van Dyk, S. ; Beichman, C. A. ; Carpenter, J. M. ; Chester, T. ; Cambresy, L. ; Evans, T. ; Fowler, J. ; Gizis, J. ; Howard, E. ; Huchra, J. ; Jarrett, T. ; Kopan, E. L. ; Kirkpatrick, J. D. ; Light, R. M. ; Marsh, K. A. ; McCallon, H. ; Schneider, S. ; Stiening, R. ; Sykes, M. ; Weinberg, M. ; Wheaton, W. A. ; Wheelock, S. ; Zacarias, N. ; Cutri, R. M., Skrutskie, M. F., van Dyk, S., Beichman, C. A., Carpenter, J. M., Chester, T., Cambresy, L., Evans, T., Fowler, J., Gizis, J., Howard, E., Huchra, J., Jarrett, T., Kopan, E. L., Kirkpatrick, J. D., Light, R. M., Marsh, K. A., McCallon, H., Schneider, S., Stiening, R., Sykes, M., Weinberg, M., Wheaton, W. A., Wheelock, S., & Zacarias, N. (Hrsg.), *2MASS All Sky Catalog of point sources*, June 2003
16. Zacharias, N. ; Finch, C. ; Girard, T. ; Hambly, N. ; Wycoff, G. ; Zacharias, M. I. ; Castillo, D. ; Corbin, T. ; Divittorio, M. ; Dutta, S. ; Gaume, R. ; Gauss, S. ; Germain, M. ; Hall, D. ; Hartkopf, W. ; Hsu, D. ; Holdenried, E. ; Makarov, V. ; Martinez, M. ; Mason, B. ; Monet, D. ; Rafferty, T. ; Rhodes, A. ; Siemers, T. ; Smith, D. ; Tilleman, T. ; Urban, S. ; Wieder, G. ; Winter, L. ; Young, A., *Third U.S. Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC3)*. In: *VizieR Online Data Catalog* 1315 (2009), S. 0–+

17. Zacharias, N. ; Monet, D. G. ; Levine, S. E. ; Urban, S. E. ; Gaume, R. ; Wycoff, G. L., *NOMAD Catalog (Zacharias+ 2005)*. In: VizieR Online Data Catalog 1297 (2005), November, S. 0—+
18. Patenaude, M., *Age determinations of open clusters*. In: A&A 66 (1978), May, S. 225–239
19. van Leeuwen, F.: *Open Cluster Distances from Hipparcos parallaxes* In: D. Egret & A. Heck (Hrsg.): *Harmonizing Cosmic Distance Scales in a Post-HIPPARCOS Era* Bd. 167, 1999, S. 52–71
20. Siess, L. ; Dufour, E. ; Forestini, M., *An internet server for pre-main sequence tracks of low- and intermediate-mass stars*. In: A&A 358 (2000), June, S. 593–599
21. Sandquist et al., *Variability in the Massive Open Cluster NGC 1817 from K2: A Rich Population of Asteroseismic Red Clump, Eclipsing Binary, and Main Sequence Pulsating Stars*. *The Astronomical Journal*, Volume 159, Issue 3, id.96, 20 pp. (2020).